



⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift

⑯ DE 42 41 871 A 1

⑯ Int. Cl. 5:

G 11 C 11/42

G 11 C 13/02

⑯ Aktenzeichen: P 42 41 871.2
⑯ Anmeldetag: 11. 12. 92
⑯ Offenlegungstag: 16. 6. 94

DE 42 41 871 A 1

⑯ Anmelder:

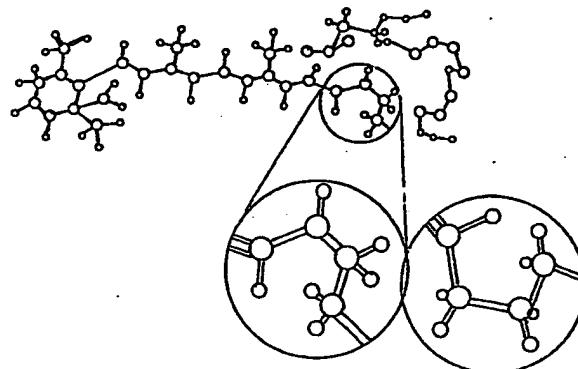
Schulz, Rudolf, Ing.(grad.), 85540 Haar, DE

⑯ Erfinder:

Antrag auf Nichtnennung

⑯ Molekularer Computer durch atomare Chips in Verbindung mit optischem Transistor sowie assoziativen Speichern

⑯ 1. Eine Schaltgeschwindigkeit, wie sie mittels optischem Transistor verwirklicht werden kann, reicht in den Pico-Bereich hinein. Jene, wie sie mittels gezielter Veränderung eines Eiweißmoleküls wie Bakteriorhodopsin gesteigert werden kann, geht bis in den Femto- und Atto-Bereich.
2. Es wird in Zukunft darauf ankommen, nicht nur Schaltgeschwindigkeiten auf ein äußerstes Maß zu treiben, sondern ein solches Zeitmaß in Verbindung zu bringen mit einem Speicherverfahren, welches an Umfang die Grenzen konventioneller Kapazitäten übersteigt. Auf ein solches Zusammenwirken wird in einer ergänzenden Anmeldung eingegangen.
3. Ausnutzung der Langmuir-Blodgett-Methode für die Herstellung von Bio-Chips.



DE 42 41 871 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 94 408 024/276

Beschreibung

In der Patentschrift P 42 25 022.6 war von einem optischen Transistor die Rede, der als eine Vorstufe zum optischen Computer aufgefaßt werden konnte.

Ein optischer Computer bestände aus vielen gekoppelten optischen Schaltelementen.

Von Bedeutung sind hier aber auch Verbindungsstücke, die als lichtleitende Filme für die Integration optischer Schaltkreise geeignet sind. — In der angeführten Schrift war bereits von einem Eiweißmolekül die Rede, welches den Namen Bakteriorhodopsin (BR) trägt.

Es kann nicht nur als sehr schneller optischer Schalter eingesetzt werden, sondern dient auch als Kurzzeitspeicher für Bildinformationen. Durch gezielte Veränderung eines solchen Eiweißmoleküls bestände die Möglichkeit einer weiteren Steigerung der Schaltgeschwindigkeit bis in den Femto- und Attribereich hinein.

Offen blieb bei dieser Anmeldung jedoch die Frage, wie man bei einer solch hohen Schaltgeschwindigkeit noch eine sinnvolle Speicherung integrieren könnte, das heißt eine Speicherung, die sich nicht nur auf eine kurze Zeit wie bei "BR" beschränkt.

Stand der Technik

In einem Sonderforschungsbereich der DFG, der bereits auf das Jahr 1986 zurückgeht (und noch weiter andauert), will man das Innенleben eines Computers dadurch leistungsfähiger machen, daß zusätzlich zum Silizium organische Moleküle integriert werden. — Man spricht hier von einer "Molekularelektronik"; und es geht dabei von dem Gedanken aus, daß Rechner um viele Größenordnungen kleiner und schneller wären, in dem die logischen Zustände nicht durch die Ladungsverteilung in einem Siliziumkristall repräsentiert wären, sondern in der Zustandsänderung einzelner Moleküle.

Es gelang inzwischen die Synthese einiger Substanzen, die ihre grundsätzliche Eignungsprüfung als Schaltmolekül bereits bestanden haben. Es handelt sich dabei um Substanzen aus der Stoffklasse der Fulgide. Mit Licht verschiedener Wellenlängen lassen sich die Moleküle von einer offenen in eine zyklische Form und zurück verwandeln. Auch Benzotriazol (Handelsname TIN) läßt sich durch Licht schalten. Das Molekül springt zwischen der Keto- und Enolform hin und her. Dauer des Schaltvorgangs: weniger als zwei Picosekunden.

Beim Einsatz des Lichtes müssen Verbindungen zwischen den Bauelementen Lichtenergie weiterleiten können. Dies gelingt mittels "molekularer Drähte".

Es sind dies Kettenmoleküle (Polyene), die abwechselnd eine chemische Einfach- und eine Doppelbindung besitzen.

An die beiden Enden der Kette wurde jeweils ein Farbstoffmolekül (z. B. Anthracen oder Naphthalin) geknüpft.

Wird das eine Molekül durch Bestrahlung angeregt, sendet sein Gegenüber ein andersfarbiges Fluoreszenzlicht aus (Funktion erfolgt unabhängig von der Länge der Kette).

Nachteil: In eine solche Kette läßt sich kein Fulgid als Schalter einbauen. — Grund: Sobald das Fulgid in eine andere Zustandsform springt, bleibt das nicht ohne Auswirkung auf die angrenzende Kette. Es treten in ihr Isomere auf, die ein gezieltes Weiterleiten unmöglich machen.

Weitere Schwierigkeiten: Für das Verlegen von Kettenmolekülen bietet sich die sogenannte "Langmuir-

Blodgett-Technik" an.

Hierbei können die Moleküle dazu gebracht werden, sich selbst zu organisieren. Sie ordnen sich — zunächst auf einer Wasseroberfläche — zu genau ausgerichteten Filmen, die sich dann gezielt auf eine Unterlage aufbringen lassen.

Dabei zeigt sich, daß die bisher erfolgreich zur Energieleitung getesteten Polyenketten für die LB-Technik zu starr sind.

10 Auf einzelne Moleküle kann man sich bei einem Molekularrechner nicht verlassen. Zu hoch wäre die Fehleranfälligkeit, vor allem durch sogenannte tunnelnde Elektronen.

Um mehrere Moleküle für die gleiche Funktion einzuspannen, bietet sich ihre Anordnung in organischen Kristallen an.

15 Radikal-Ionen-Salze etwa bestehen aus Stapeln organischer Moleküle, in deren Mitte eine Kette von Metallionen, etwa Kupfer, für Stabilität sorgt. Solche Stapelkristalle haben metallähnliche elektrische Eigenschaften, streng gerichtet entlang der Stapel.

20 Größtes Problem dabei: Wie sich an den Enden des Kristalls Schaltermoleküle anheften lassen.

Zum "Stand der Technik" gehören weiter Bestrebungen, die darauf hinauslaufen, Halbleiterbauelemente aus Polyacetylen, einem organischen Metall, anzufertigen.

25 Polymere Chips sind zwar geeignet, die physikalischen Grenzen der Siliziumtechnologie bei zunehmender Miniaturisierung zu überwinden. Der Strom in Polyacetylen und anderen organischen Leitern wird ausschließlich entlang der Kohlenstoffketten des Makromoleküls transportiert: Dadurch verringert sich die Gefahr eines Tunneleffektes ganz erheblich. — Ferner erzeugen diese Moleküle aufgrund des geringeren elektrischen Widerstandes weniger Wärme, und man könnte sie dichter packen.

30 Nachteil jedoch: Derartige Chips können nicht in größeren Mengen produziert werden.

35 Polymerforschung und -technologie ist jedoch in der Lage, maßgeschneiderte Moleküle herzustellen; das heißt die Synthese von Stoffen mit vorgegebenen Eigenschaften.

40 Im Fokus des Interesses einer ganzen Reihe von Chemieunternehmen steht dabei der optische Chip.

45 So konnte z. B. die Temperaturbeständigkeit, eine Schwachstelle von Polymeren, auf beachtliche 280°C erhöht werden.

50 In eine Polymerschicht wurden mit einem Elektronenstrahl haarfeine Strukturen eingeschrieben, wobei eine Auflösung von 100 Nanometern erreicht wurde.

55 Fraglos ließen sich hier noch weitere Fakten zum Stand der Technik anführen; dies würde jedoch am Kern der Anmeldung vorbeigehen. Auf die Möglichkeit, mit Hilfe von Supercomputern Reagenzgläser der Chemie zu ersetzen, wird abschließend noch die Rede sein; insbesondere schon deswegen, weil Protein- oder Molekül-Design eine glänzende Zukunft vor sich hat.

Das der Erfindung zugrunde liegende Problem

60 Es kommt hier darauf an, den optischen Transistor (oder Transphasor), wie er in der Patentschrift Nr. P 42 25 022.6 aufgezeigt wurde, in Verbindung zu bringen mit jener Technologie, wie sie dort zwar angedeutet, jedoch noch nicht näher erläutert wurde: Lichtleitende Filme als Verbindungsstücke integrierter optischer Schaltkreise.

65 Es soll am Protein-Molekül Bakteriorhodopsin (BR)

aufgezeigt werden, wie molekulare Computer Gestalt annehmen könnten; Herstellung von sogenannten Bio-Chips.

Schließlich wäre auch das Problem zu lösen, wie man einen schnellen Rechner (wenn nicht den schnellsten überhaupt) in Kooperation bringt zu einem Speicher-System, welches durch den Einsatz photorefraktiver Kristalle gekennzeichnet ist.

Da hierbei Piezo-Translatoren eine wesentliche Rolle spielen sollen, kann auf eine solche Kombination erst in einer weiteren Anmeldung eingegangen werden.

Vorbemerkung: Die Biochemiker wissen seit den dreißiger Jahren, daß die Wechselwirkung der im menschlichen Körper vorhandenen chemischen Stoffe

— Proteine, Enzyme, Peptide und viele andere mehr — vor allem auf deren äußerer Form und elektrischen Ladungen beruht.

Jedes Molekül hat einen eindeutig geformten Stift, der in die entsprechende Aussparung in einem anderen Molekül paßt. — In diesem Prinzip stecken die Antworten auf alle Fragen im Zusammenhang mit dem Gesundheitszustand eines Menschen. Zum Beispiel, wie Viren Zellen zerstören und wie Antikörper — die natürlichen Abwehrmittel des Körpers gegen eindringende Organismen — die Viren bekämpfen.

In diesen biomedizinischen Erkenntnissen liegt das Potential für eine neue Art von Rechnern, die aus sogenannten Biochips bestehen. Diese Molekülgruppen sollen im Laufe mehrerer chemischer Reaktionen durch die Verkettung einzelner Moleküle entstehen, wobei deren Stifte perfekt in die Aussparungen ihrer Nachbarn eingepaßt werden. (Selbst künstliche Moleküle wie die sogenannten monoklonalen Antikörper, die ursprünglich zur Krebsbekämpfung entwickelt wurden, ließen sich in einen Biochip einbauen.)

Bei der Konstruktion eines Biochips wird als erstes die Oberfläche des Wassers in einem Behälter mit einem nur ein Molekül starken Film aus Proteinen überzogen. — Mit der sogenannten Langmuir-Blodgett-Methode überträgt man diesen Proteinfilm von der Wasseroberfläche auf eine Silizium- oder Quarzunterlage (Abb. 1a und 1b).

Hinweis: Um den Haupttext nicht zu unterbrechen, werden Erläuterungen zu den einzelnen Abbildungen am Ende der Beschreibung zusammengestellt.

Diese Proteinscheibchen werden anschließend in andere Behälter getaucht, die jeweils einen anderen Bestandteil des Chips in gelöster Form enthalten (Abb. 1c, 1d, 1e, 1f, 1g und 1h).

Schritt für Schritt verketten sich die molekularen Bauteile untereinander und mit den Proteinen; so entstehen Millionen von identischen logischen Gattern oder Speicherzellen, je nachdem mit welchem Rechen-element sie sich verbinden.

In jedem Fall erfolgt die Ein- und Ausgabe von Informationen bei einem Biochip mit Hilfe von Laserstrahlen.

Die Problematik, die man bisher noch nicht lösen konnte, bestand darin, daß man keinen Laserstrahl besaß, der fein genug war, um ein einzelnes Rechenelement in einem solchen Chip zu treffen. (Enttäuschend verliefen bisher alle Ansätze, winzige Fotozellen zu entwickeln, mit denen die Helligkeit des von einem Biochip ausgesandten Laserstrahls gemessen werden kann.)

Es wird daher vorgeschlagen, viele benachbarte Elemente zu veranlassen sich wie ein einziges zu verhalten (am besten in einer Zehnergruppe zusammengefaßt).

Damit dürfen Laserstrahlen und Fotozellen durchaus größer sein als zulässig wäre, wenn jedes Element ge-

zielt angesprochen wird.

Ein einzelnes Element, welches eine Verkörperung einer bestimmten Zahl entsprechen könnte (zum Beispiel in einer neuen Art von Datenbank-Organisation) könnte man anschließend mit einer speziellen Positioniertechnik herausschälen. (Hierzu ergeht eine besondere Anmeldung.)

Die Rolle eines logischen Elements in einem Biochip ist die in den Abb. 2a, 2b, 2c und 2d wiedergegebene Anordnung aus insgesamt vier verschiedenen Molekülen.

Zwei von ihnen gehören zu den Molekülfamilien der Zyanide und Polyene. Sie werden in der Farbfotografie als Farbstoffe verwendet.

Die dritte Art, das Chinon, unterstützt die Photosynthese in Pflanzen und Bakterien. — Das Porphyrinmolekül transportiert den Sauerstoff im Blut. — Die Sigma-gruppe besteht aus einer Anzahl von Atomen und ist gewissermaßen der Leim, der die Moleküle zusammenhält.

Diese einfachen Moleküle lassen sich jedoch zu einer Struktur zusammenschließen, deren elektrische und optische Eigenschaften ihre Verwendung als logisches Gatter ermöglichen, eine der winzigen Schaltungen, mit denen ein Computer komplizierte Programmanweisungen ausführt.

Die abgebildete Molekülgruppierung ist ein NAND-Gatter. Ein logisches Gatter (es gibt bekanntlich noch AND-, NOT-, OR- und XOR-Gatter) erkennt man an seinen Eingangs- und Ausgangssignalen. (Ein NAND-Gatter gibt nur dann eine Null aus, wenn seine beiden Eingangssignalwerte Einsen sind. — Eine andere beliebige Kombination von Einsen und Nullen als Eingangssignalwerte führt zur Ausgabe einer Eins.)

NAND-Gatter können so miteinander verbunden werden, daß sie auch die Funktionen aller anderen Gatter übernehmen. — Aufgrund dieser besonderen Eigenschaft kann man mit einem einzigen Typ eines logischen Gatters eine flexible computerlogische Schaltung entwickeln: eine wichtige Vereinfachung.

Allerdings braucht man für eine auf NAND-Gattern basierende Computer-Logik bis zu dreimal so viele Elemente, wie erforderlich wären, wenn man auch die anderen Gattertypen verwendet.

In einem herkömmlichen Siliziumchip-Computer würde eine so große Anzahl von logischen Elementen den Arbeitsablauf natürlich erheblich verlangsamen. — In einem Biocomputer hingegen wird dieser Nachteil mehr als ausgeglichen durch die enorme Geschwindigkeit der molekularen logischen Elemente, die sicher tausendmal schneller sein werden als ihre Gegenstücke aus Silizium.

Dieses molekulare NAND-Gatter erhält seine Informationen durch Laserstrahlen, die auf die Chinonmoleküle gerichtet werden.

Feinheiten in der Elektronenverteilung innerhalb der Gattermoleküle (in den Abbildungen nicht gezeigt) führen dazu, daß jedes der beiden Gattermoleküle auf eine andere Farbe reagiert; so können die Gattereingänge eindeutig voneinander unterschieden werden.

Den Gatterausgang bildet ein dritter Laserstrahl, den das Gatter abhängig von den Eingangssignalen sperrt oder zu einer Fotozelle lenkt, um eine Null oder Eins darzustellen.

Ein Bakterium, das in den Salzsümpfen in der Nähe des Silicon Valley in Kalifornien vorkommt, enthält ein Protein, welches als Speicherzelle in einem Biochip verwendbar ist.

Das Protein mit der Bezeichnung Bakteriorhodopsin ist ähnlich aufgebaut wie das Protein Rhodopsin, das in der Netzhaut des Auges Licht in Nervenimpulse umwandelt.

Bakteriorhodopsin setzt Licht in chemische Energie um und hat eine nützliche Eigenschaft: Sein chemischer Zustand ändert sich, sobald mit rotem oder grünem Licht bestrahlt wird (Abb. 3a, 3b und 3c). Die Zustandsänderung, die durch das Licht der einen Farbe verursacht wird, bleibt solange bestehen, bis das Molekül dem Licht der anderen Farbe ausgesetzt wird. — Diese Eigenschaft ist wie maßgeschneidert für einen Computer, der Daten in Form von Einsen und Nullen speichert — oder in diesem Fall in Form von roten und grünen Bereichen.

Der Zustand des Moleküls — ob es zuletzt rotem oder grünem Licht ausgesetzt war — ist leicht zu erkennen.

Im Rotzustand ist das Molekül lichtundurchlässig gegenüber allen Farben außer Rot; im Grünzustand läßt es nur grünes Licht durch.

Beide Farben können verwendet werden, um den Speicher zu lesen, abgesehen von der Neigung des grünen Lichts rote Speicherzellen (Nullen) in grüne (Einsen) zu verwandeln und umgekehrt und damit den Speicherinhalt noch während des Lesens zu verändern.

Dieses Problem (das sogenannte "detraktive Auslesen") läßt sich beheben, indem man den Speicher mit einem zweifarbigen Laserstrahl aus rotem und grünem Licht liest (Abb. 3b und 3c).

Das Bakteriorhodopsin konnte vor allem deswegen eine überragende Bedeutung erlangen, weil durch dessen Anwendung die Technik der Holographie einen grundlegenden Wechsel erfuhr.

Eine konventionelle Hologramm-Herstellung ist verbunden mit einem umständlichen Entwicklungsverfahren: das kann Stunden in Anspruch nehmen, weil für jeden Suchvorgang ein eigenes Hologramm aufgenommen, entwickelt und wieder in die Apparatur eingepaßt werden muß.

Bei BR-Filmen ist eine Entwicklung nicht erforderlich, wie insbesondere aber auch bei den photorefraktiven Kristallen Lithium-Niobat und Kalium-Niobat.

Eine Abspeicherung von Daten auf photorefraktiven Kristallen kann schon seit längerer Zeit durchgeführt werden. Der Grund, warum dieses Kristall nur beschränkt Anwendung erfuhr, liegt darin, daß oxidiertes $\text{LiNbO}_3 : \text{Fe}$ zwar aufgrund der hohen Kapazität ($2 \cdot 10^8 \text{ bit/cm}^3$) und der kurzen Lesezeit sich gut für einen Datenspeicher eignet ... jedoch im wesentlichen nur als "Read-Only-Memory" benutzt werden kann.

Ursachen: Die Fotoleitung ist noch — selbst in reduzierten Kristallen — sehr klein und läßt sich wahrscheinlich kaum noch steigern.

Dieses Kristall war also als "Read-Wirte-Memory" ungeeignet. Hinzu kam noch eine Reihe von Fehlerquellen und Störungen, die teils durch das Prinzip, teils durch die verwendeten Maschinen bedingt sind, siehe Dissertation ERBES, TU Clausthal, 1978.

Charakteristisch für den Assoziativspeicher ist seine Parallelarbeit, da alle Zellen des Speichers hinsichtlich der darin enthaltenen Information oder hinsichtlich eines Teils desselben gleichzeitig abgefragt werden und die Antwort von allen abgefragten Zellen im wesentlichen zur selben Zeit gegeben wird. (Hinsichtlich der oben wiedergegebenen Einschränkung auf den "Nur-Lese-Speicher" muß noch erwähnt werden, daß andererseits wohl Patentschriften bestehen, die beiden Sei-

ten [das Lesen wie das Einschreiben] behandeln, ohne freilich Wert auf das dabei verwendete Material, d. h. den Kristall, zu legen. — Vergleiche jedoch: OS 23 33 785; Optischer Assoziativspeicher. — Magnetische Blasentechnik mit Thallium- oder Terbium-Orthoferrit-Kristall.)

Es liegt jedoch nahe, den angemeldeten optischen Transistor in bereits vorhandene Ideen zu integrieren, wie sie z. B. zum Ausdruck kommen in OS 23 21 911: 10 Holographische Anordnung für einen schnellen optischen Speicher mit wahlfreiem Zugriff; aus dem Jahr 1974.

Auch wäre eine Integration möglich in die OS 27 15 531: Holographisches Verfahren zum Speichern 15 und Auswählen von Datensätzen; aus dem Jahr 1978.

Ergänzt werden müßten die dort dargelegten Gedanken durch die Maßnahme: Parallele Verarbeitung mittels optischen Transistor.

Der optische Transistor in Verbindung mit Bakteriorhodopsin und optischem Assoziativ-Speicher wird eine entscheidende Rolle spielen beim Molekül-Design: Mit Hilfe spezieller Computerprogramme lassen sich Moleküle dreidimensional darstellen.

Proteinstrukturen lassen sich am Bildschirm immer 25 detaillierter darstellen.

Erläuterungen zu den Abbildungen

Zu Abb. 1a und 1b:

30 — Eine auf der Wasseroberfläche schwimmende Proteinschicht von der Stärke eines Moleküls wird im Querschnitt gezeigt. Elektrische Ladungen verbinden die Proteine zu einem Film, in dem alle Moleküle die gleiche Ausrichtung haben.

35 — Ein normalerweise aus Silizium bestehendes Plättchen wird kurz in den Behälter getaucht, wobei der Proteinfilm der Wasseroberfläche auf dem Plättchen haften bleibt. Die Moleküle dieses Films bilden die Grundbausteine eines Biochips.

40 Zu Abb. 1c, 1d, 1e, 1f und 1b:

— Ein monoklonaler Antikörper verbindet sich mit einem Proteinmolekül; damit beginnt der Bau der Stützstruktur für die Rechenelemente des Chips.

— In weiteren Tauchvorgängen verbindet sich zunächst ein zweiter monoklonaler Antikörper mit dem ersten; anschließend werden identische Peptide an die Antikörper angelagert. Weitere Peptide folgen, falls das Rechenelement mehr als zwei Verankerungen braucht.

45 — Die Peptide ermöglichen die elektrische Verbindung zwischen der entstehenden Stützstruktur und einem Rechenelement in Form eines logischen Gatters oder einer Speicherzelle.

— Um die elektrische Verbindung der Rechenelemente vorzubereiten, wird ein drittes Peptid an den unteren monoklonalen Antikörper als Träger für ein Enzym angelagert.

50 — Das Enzym reagiert mit anderen chemischen Stoffen und produziert ein winziges Metallteilchen: Das Metall dient als elektrischer Leiter zur Übertragung von Programmanweisungen und Daten.

Zu Abb. 1h:

— Ein Biochip besteht aus Millionen von Strukturen. — Der chemische Überbau leitet Spannungsimpulse zwischen den molekularen Rechenelementen und den Metallteilchen, die als Bindeglieder zwischen den Strukturen dienen. — Benachbarte Metalleiter berühren sich zwar nicht, aber sie liegen so nahe beieinander, daß Elektronen zwischen ihnen wie durch einen festen

Draht überwechseln können.

Zu Abb. 2a, 2b, 2c und 2d:

- In diesem NAND-Gatter gibt jedes der beiden Zyaninmoleküle ein Elektron (nicht gezeigt) über eine Sigma-Gruppe und ein Chinon-Molekül an einen Porphyrin-Ring ab, der mit einem Polyenmolekül verbunden ist. 5
- Sobald das Chinonmolekül mit Laserstrahlen beleuchtet wird, kehren die angegebenen Elektronen zu ihren Zyaninmolekülen zurück und verändern dabei die lichtabsorbierenden Eigenschaften des Polyens: Ein farbiger Strahl, der beim Vorhandensein eines oder beider Elektronen blockiert wird, kann bei ihrer Abwesenheit ohne weiteres passieren. Weitere diffizile elektrische Eigenschaften machen die Chinonmoleküle empfindlich gegenüber verschiedenfarbigen Laserstrahlen. 10
- In dieser vereinfachten Zeichnung eines NAND-Gatters sind beide Eingangssignalwerte Null. Das heißt, keines der beiden Chinonmoleküle wird von einem Laserstrahl beleuchtet. Unter dieser Voraussetzung läßt das Polyenmolekül den roten Strahl eines Ausgabelasers zu einer Fotozelle durch; dies bedeutet, daß der vom NAND-Gatter ausgegebene Signalwert Eins ist. 15
- Um die Eingangssignalwerte Eins und Null zu erzeugen, richtet man einen Laserstrahl auf eines der beiden Chinonmoleküle. In diesem Beispiel wird das obere Chinonmolekül beleuchtet; damit wird ein Elektron gezwungen, den Porphyrin-Ring zu verlassen und zum oberen Zyaninmolekül überzuwechseln. — Das Fehlen eines einzigen Elektrons im Porphyrin-Ring beeinflußt die Farbempfindlichkeit des Polyenmoleküls nur unwesentlich. 20
- Um die Eingangssignalwerte Eins und Null zu erzeugen, richtet man einen Laserstrahl auf eines der beiden Chinonmoleküle. In diesem Beispiel wird das obere Chinonmolekül beleuchtet; damit wird ein Elektron gezwungen, den Porphyrin-Ring zu verlassen und zum oberen Zyaninmolekül überzuwechseln. — Das Fehlen eines einzigen Elektrons im Porphyrin-Ring beeinflußt die Farbempfindlichkeit des Polyenmoleküls nur unwesentlich. 25

Der Ausgabelaser erreicht die Fotozelle; folglich erzeugt das Gatter den Ausgangssignalwert Eins.

- Wenn beide Chinonmoleküle von einem Laserstrahl getroffen werden, also beide Eingangssignalwerte Eins sind, kehren auch beide abgegebenen Elektronen vom Porphyrin-Ring zu ihrem jeweiligen Zyaninmolekül zurück. Die Abwesenheit der beiden Elektronen verändert die Farbempfindlichkeit des Polyenmoleküls, so daß der Ausgabelaserstrahl blockiert wird. Die Fotozelle wird 30 nicht beleuchtet —, der Ausgangssignalwert des Gatters ist Null.

Zu Abb. 3a, 3b und 3c:

- Die hufeisenförmige Anordnung von Atomen im Bakteriorhodopsin-Molekül wechselt ihre Orientierung, 45 wenn sie mit farbigem Laserlicht bestrahlt wird. — Unter der kurzzeitigen Einwirkung von rotem Licht dreht sich die Öffnung des Hufeisens nach unten; die Beleuchtung mit grünem Licht bringt das Hufeisen in seine Ausgangslage zurück.
- Ein Laserstrahl aus Laserlicht, halb rot und halb grün, blitzt durch ein Bakteriorhodopsinmolekül, das aufgrund einer vorausgehenden Bestrahlung mit rotem Licht mit Null codiert ist. In diesem Zustand blockiert das Molekül die grüne Hälfte des Strahls und lenkt die rote Reststrahlung auf eine Fotozelle. Die Fotozelle erkennt die rote Farbe des Lichts und schaltet unverzüglich die grüne Hälfte des Strahls ab, so daß das Molekül nicht in den grünen Eins-Zustand versetzt wird. — Anschließend übermittelt die Fotozelle einen elektrischen 50 Impuls, der den Ausgangssignalwert Null repräsentiert.
- Ist das Bakteriorhodopsin-Molekül nach Einwirkung von grünem Licht mit Eins codiert, läßt es nur den grünen Anteil des Laserstrahls zur Fotozelle gelangen. In diesem Fall schaltet die Fotozelle zunächst die rote 55 Hälfte des Strahls ab, damit im Molekül gespeicherte Daten nicht gelöscht werden, und sendet das elektrische Ausgangssignal Eins.

Patentansprüche

1. Gekoppelte Schaltelemente, die unter Einsatz des Prinzips eines optischen Transistors einen optischen Computer verwirklichen.
2. Optische Schaltkreise, die — in Ergänzung des Anspruchs 1 — unter Anwendung von lichtleitenden Filmen eine Integration bzw. Vernetzung erfahren.
3. Ein lichtleitender Film gemäß Anspruch 2, der aus einem Eiweißmolekül mit dem Namen Bakteriorhodopsin entwickelt wird und über eine photosynthetische Aktivität verfügt.
4. Schaltvorgänge, die mit jenem BR erreicht und — unter Einsatz von grünem oder rotem Licht — durch Form- und Farbveränderungen des BR-eigenen Farbstoffes ausgelöst werden.
5. Herstellung von Bio-Chips, wie sie in der Problemlösung beschrieben wurde, unter Anwendung der Langmuir-Blodgett-Methode.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

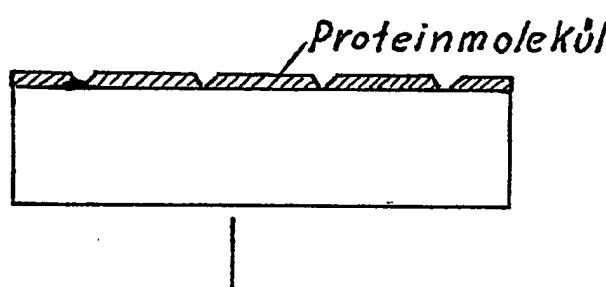


Abb. 1a



Abb. 1c

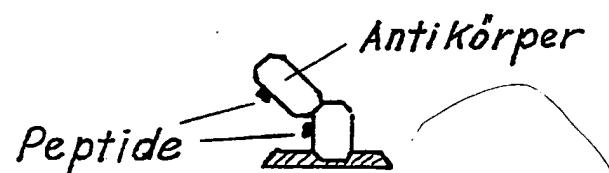


Abb. 1d



Abb. 1e

Abb. 1e

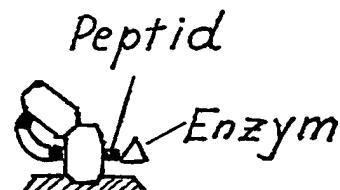


Abb. 1f

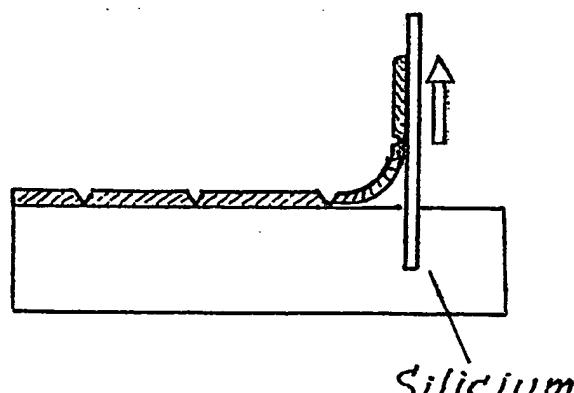
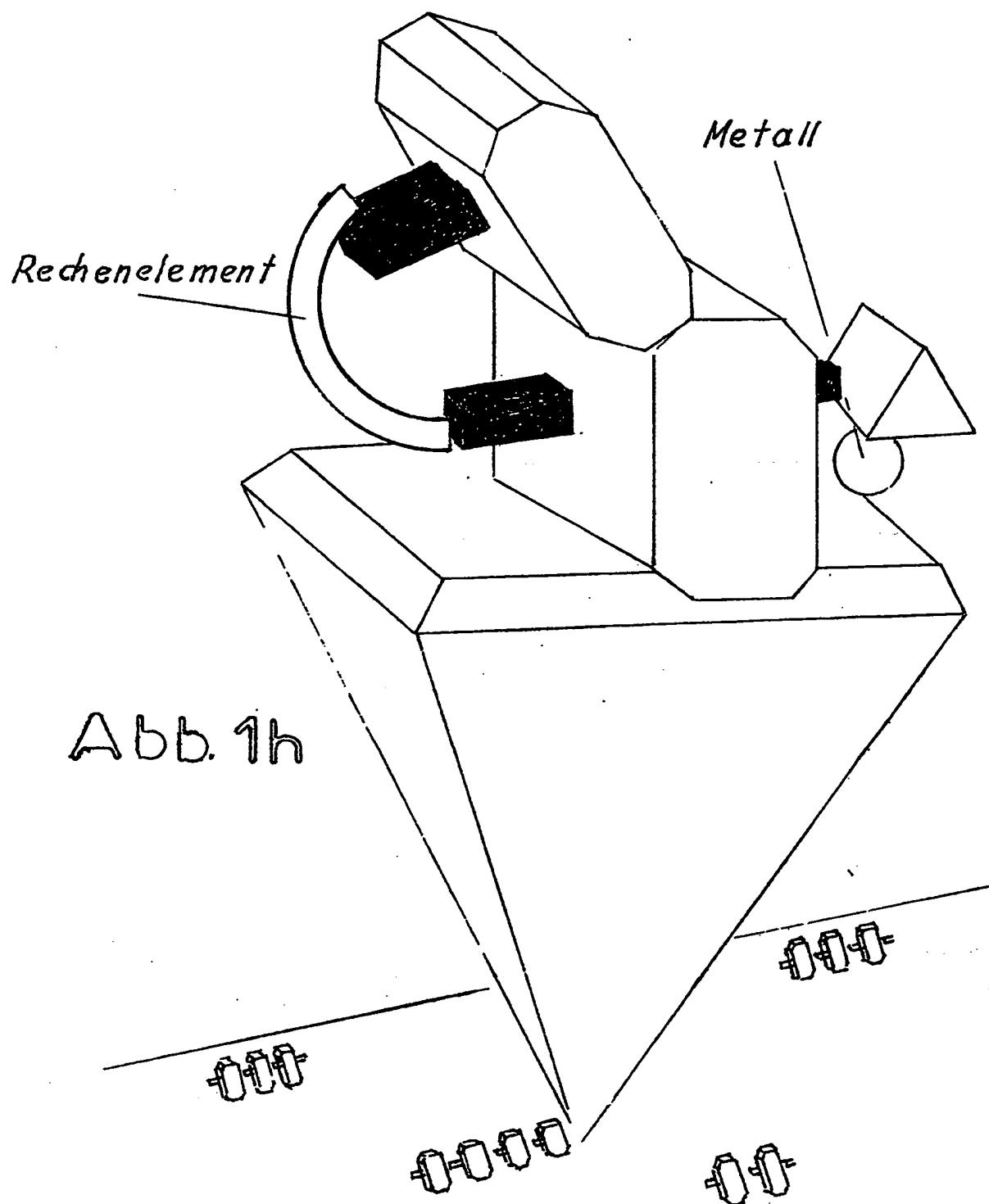
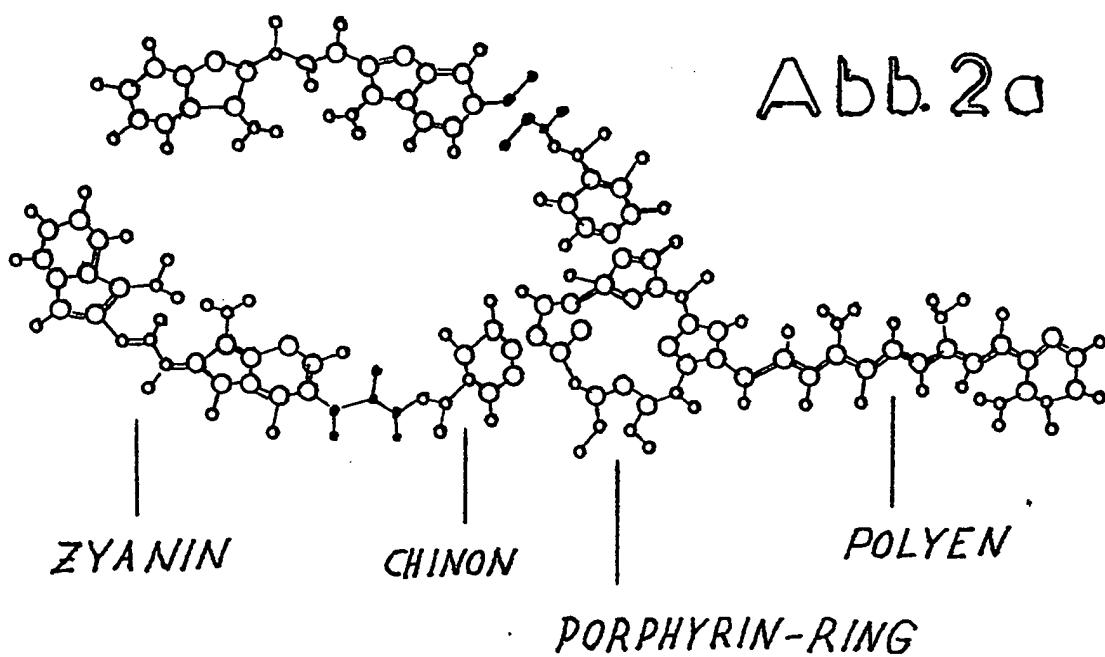


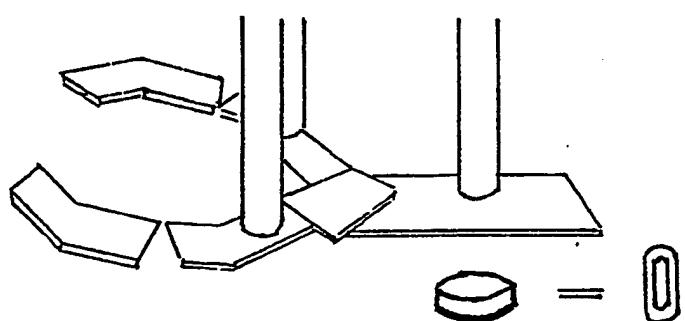
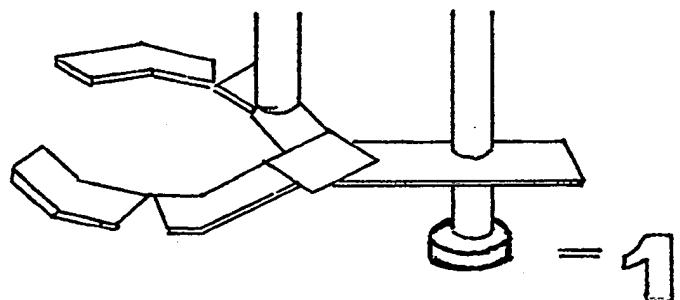
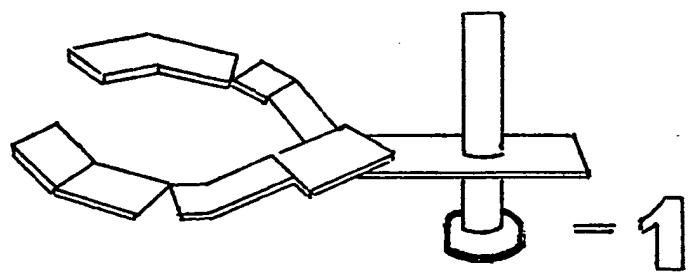
Abb. 1g







SIGMA-GRUPPE



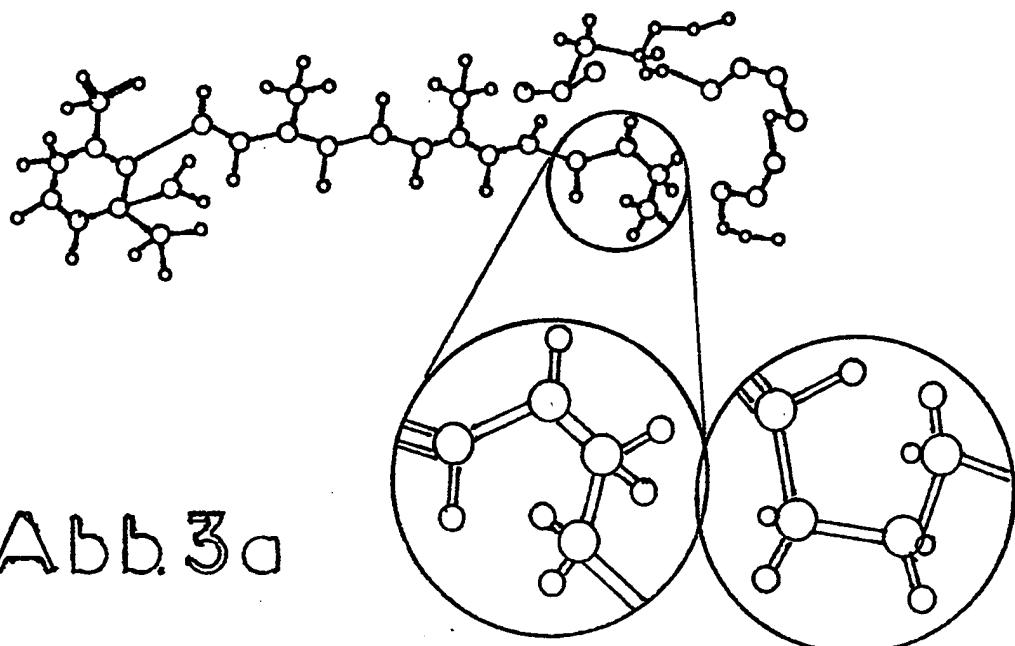


Abb. 3a

Abb. 3b

Abb. 3c

